

EFECTOS DEL ENCALADO EN SUELO ÁCIDO CULTIVADO CON CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA EL TRIUNFO, CHIAPAS, MÉXICO

EFFECTS OF LIMING ON ACID SOIL CULTIVATED WITH COFFEE (*Coffea arabica* L.) IN THE BIOSPHERE RESERVE OF EL TRIUNFO, CHIAPAS, MEXICO

López-Báez, W.^{1*}; Urbina-Hernández, L.H.²; Reynoso-Santos, R.¹; Martínez-Sánchez, J.¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Centro de Chiapas. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa km 3. Ocozocoautla, Chiapas. C. P. 29140. ²Prestador de Servicios Profesionales Independiente.

*Autor para correspondencia: lopez.walter@inifap.gob.mx.

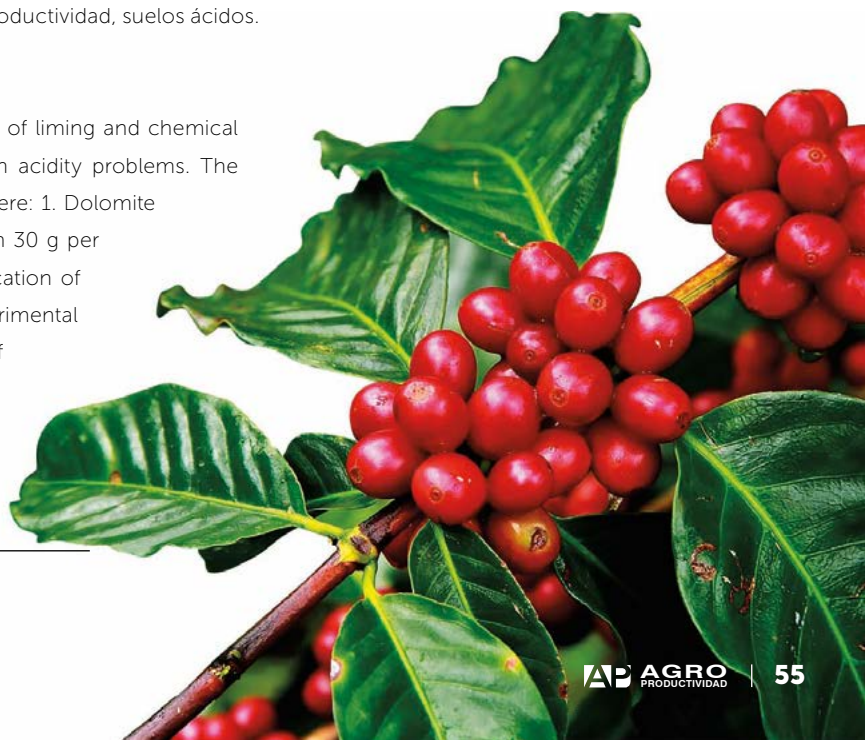
RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto del encalado y fertilización química en plantas de café establecidas en un suelo con problema de acidez. Los tratamientos evaluados en un diseño bloques al azar fueron: 1. Cal dolomita en dosis de 500 kg ha⁻¹; 2. Fertilización (nitrógeno 30 g por planta y fósforo 28 g por planta); 3. Aplicación junta de cal dolomita y fertilización y; 4. Testigo. La unidad experimental fue una planta de café Arabica (*Coffea arabica* L.) de la variedad Oro Azteca y se usaron 5 plantas (repeticiones) por tratamiento. La cal fue aplicada al momento de establecer la plantación en junio de 2014; a los 17 meses después se midieron altura de planta, diámetro del tallo, largo de raíz, peso de biomasa seca, características del suelo y a los 2.5 años se estimó rendimiento de café cereza. Se presentó diferencia estadística altamente significativa ($P \leq 0.01$) para altura de plantas y ausencia de significancia (n.s.) para el diámetro de tallo. La aplicación de cal demostró que las condiciones de acidez en el suelo, al afectar el crecimiento normal de las raíces; limita la absorción de nutrientes, el desarrollo de la parte aérea de las plantas y el rendimiento de grano café. También se evidenció, el efecto que tiene la fertilización nitrogenada en el aumento de la acidez y la limitada eficiencia que tienen los fertilizantes aplicados en un suelo con problema de acidez.

Palabras clave: Área natural protegida, cafeticultura, productividad, suelos ácidos.

ABSTRACT

The objective of the research was to study the effect of liming and chemical fertilization in coffee plants established in a soil with acidity problems. The treatments evaluated in a randomized block design were: 1. Dolomite lime in doses of 500 kg ha⁻¹; 2. Fertilization (nitrogen 30 g per plant and phosphorus 28 g per plant); 3. Joint application of dolomite lime and fertilization; and 4. Control. The experimental unit was one Arabica coffee plant (*Coffea arabica* L.) of the Oro Azteca variety and 5 plants (repetitions) were



used per treatment. The lime was applied at the time of establishing the plantation in June 2014. The following were measured 17 months later: plant height, stem diameter, root length, dry biomass weight, and soil characteristics; and at 2.5 years, the yield of cherry coffee was estimated. There was a highly significant statistical difference ($P \leq 0.01$) for plant height and absence of significance (n.s.) for stem diameter. The application of lime showed that the acidity conditions in the soil, by affecting the normal growth of the roots, limits the absorption of nutrients, the development of aerial part of the plants, and the yield of coffee beans. The effect of nitrogen fertilization on the increase of acidity and the limited efficiency of fertilizers applied to soils with acidity problems was also evident.

Keywords: Natural protected area, coffee production, productivity, acid soils.

INTRODUCCIÓN

Con aproximadamente 12,000 ha cultivadas, el café es la principal actividad económica dentro del polígono de la reserva de la Biósfera El Triunfo (REBITRI) ubicada en la Sierra Madre de Chiapas, particularmente en los municipios de Ángel Albino Corzo, Montecristo de Guerrero y La Concordia. Al representar la principal fuente de ingresos para las familias, el café también es la principal causa de deforestación en la REBITRI, y en consecuencia, una amenaza para la conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a ésta área natural protegida (López *et al.*, 2011; Castiaux *et al.*, 2014; Jurjonas *et al.*, 2016).

El café dentro de la REBITRI se cultiva en pequeñas áreas (80% de los productores tienen superficies menores de 2 ha) con pendientes mayores de 30 grados. El cultivo se caracteriza por presentar bajos y variables rendimientos con una media de 12 quintales ha^{-1} (± 7.7), debido entre otras causas, a la edad avanzada de las plantaciones, uso de variedades con alta susceptibilidad a la enfermedad de la roya (*Hemileia vastatrix*), pocas prácticas de manejo (sólo control de malezas, poda y desombre), deficiente nutrición y ausencia de prácticas de conservación de suelos.

En esta región los suelos son ácidos, con pH promedio de 5.1 (± 0.38) que podría estar limitando la mineralización de la materia orgánica, la eficiencia de la fertilización que realizan los productores, e influyendo en la disponibilidad y asimilación de otros nutrientes; en 25% de los sitios analizados la saturación de Ca es menor del 60%, lo que indica posible respuesta a la aplicación de cal (Ángel, 2015; López *et al.*, 2016). Particularmen-

te, está documentado que la acidez del suelo es un problema que afecta el crecimiento del café en todas las etapas del cultivo (Siavosh, 2016). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la práctica del encalado y su interacción con la fertilización química sobre la planta de café y algunas características del suelo.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se instaló en una plantación de café establecida en junio de 2014 con la variedad Oro Azteca, ubicada en las coordenadas 15° 66' N y 92° 70' W, dentro de la microcuenca La Suiza, en el municipio de Montecristo de Guerrero, estado de Chiapas, México (Figura 1).

Los resultados del análisis del suelo proveniente de una muestra compuesta de la parcela, realizado previo al establecimiento del experimento e interpretado con los criterios de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (Diario Oficial de la Federación, 2002), se presenta en el Cuadro 1.

La presencia de acidez del suelo fue analizada desde la óptica de diferentes autores. Según Espinosa y Molina (1999), el contenido de Al^{3+} intercambiable está por arriba de los 0.5 meq/100 g, considerado



Figura 1. Ubicación de la microcuenca La Suiza, municipio de Montecristo de Guerrero, estado de Chiapas, México, donde se estableció el experimento.

como el límite para que las plantas no sean afectadas. Para Sánchez (2014), la saturación de la CIC por Al^{3+} está por arriba del 5% considerado problemático para las plantas. De acuerdo a Bertsch (1995; 1998), el porcentaje de saturación de la CIC por Al^{3+} está por debajo del valor de tolerancia de 25% recomendado para el cultivo de café, y por lo tanto no era necesaria la aplicación de cal. Considerando

como indicador el porcentaje de saturación de Ca^{2+} , el valor de 30% que tenía el suelo, estaba por debajo del nivel óptimo de 65% recomendado por Instituto Internacional de Nutrición Vegetal (IPNI, 1990) y por lo tanto requiere aplicación de cal.

Sustentado en el conocimiento previo de las características del suelo y las diferentes interpretaciones sobre las afectaciones de la acidez, se planteó un estudio exploratorio para evaluar los siguientes cuatro tratamientos: 1. Aplicación de Cal dolomita en dosis de 500 kg ha^{-1} aplicada al momento de la siembra; 2. Fertilización con nitrógeno (30 g por planta) y fósforo (28 g por planta) en forma de urea superfosfato triple; 3. Aplicación junta de cal dolomita y fertilización; y 4. Testigo sin aplicaciones.

De acuerdo al resultado de la composición química o reactividad (cantidad de acidez que puede neutralizar) y la fineza de partícula (velocidad con la cual el material puede neutralizar la acidez), el material utilizado para encalar presentó una eficiencia o poder relativo de neutralización total (PRNT) de 87.4% (Cuadro 2), considerado de buena calidad, ya que entre más alto el valor del PRNT, mayor es su efecto neutralizante de la acidez del suelo (Meléndez y Molina, 2001).

Los tratamientos se establecieron en diseño de bloques al azar con cinco repeticiones, utilizando como unidad experimental una planta de café. Como variables dependientes se midieron la altura y diámetro del tallo

Cuadro 1. Características del suelo donde se estableció experimento.

Variable	Resultado	Interpretación
pH (1:2 agua)	5.3	Moderadamente ácido
Materia orgánica (%)	4.48	Bajo
P-Bray (ppm)	1	Bajo
K (meq/100 g)	0.8	Alto
Ca (meq/100 g)	1.7	Muy bajo
Mg (meq/100 g)	2.0	Medio
Al (meq/100 g)	0.9	Medio
CIC (meq/100 g)	5.73	Bajo
Arena (%)	53	Franco-areno-arcilloso
Limo (%)	17	
Arcilla (%)	30	

cuando las plantas tenían 17 meses de haberse establecido en campo. Adicionalmente en una planta por tratamiento, se midió el largo de la raíz y el peso de biomasa seca. En una muestra compuesta por tratamiento se analizaron comparativamente las características de suelo. El rendimiento de grano ceceza fue medido en cinco plantas por tratamiento cuando tenían 2.5 años de establecidas. La eficiencia

agronómica de la cal y fertilización se estimó de acuerdo a la formula sugerida por Snyder (2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentó diferencia estadística altamente significativa ($P \leq 0.01$) para altura de plantas y ausencia de significancia (n.s.) para el diámetro de tallo (Cuadro 3 y 4). En promedio con el tratamiento con cal, las plantas superaron en 43, 34.1 y 16.8 cm de altura a las de los tratamientos testigo, fertilización y cal+fertilización; en este último, se presentó una disminución en la altura de plantas en comparación con el efecto individual de la cal.

En el Cuadro 5 y la Figura 2 se muestran los efectos en la longitud de raíces, peso de hojas, peso resto de planta (raíces, tallos y ramas) y peso de toda la planta, tomados de una planta por tratamiento con una edad de 17 meses de establecida, donde se observa que en todas las variables el tratamiento testigo obtuvo los valores más bajos, seguido por la interacción cal+fertilización. Por el contrario los valores más altos se observaron en los tratamientos que llevaron cal y fertilización. El peso total de la planta el tratamiento con

Cuadro 2. Características del material utilizado para encalar el suelo del cafetal.

Tamaño de partícula (mm)	Partícula en peso (%)	Reactividad (%)	Valor neutralizante (%)	Eficiencia (%)
>8	0.0	0	99.9	0.0
8 a 20	8.2	20	99.9	1.6
20-60	14.9	60	99.9	8.9
< 60	76.9	100	99.9	76.8
Total	100.00			87.4

Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza para las variables estudiadas

Fuentes de variación	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)
Tratamientos	1855.7**	34.1 n. s.
Bloque	22.9 n. s.	8.6 n.s.
Coeficiente Variación (%)	17.7	23.2
Media	63.6	13.6

(**) Significativo a nivel de $P \leq 0.01$; n.s.=no significativo.



Figura 2. Efectos de los tratamientos en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café variedad Oro Azteca.

cal superó en 232% al testigo, en 25% al tratamiento con fertilización y en 83% a la aplicación de cal+fertilización.

En lo que respecta a los efectos en las características del suelo, en el Cuadro 6 se observa que en los tratamientos que llevaron cal, el suelo pasó de una situación de fuertemente ácido (pH de 4.8 y 4.9) a moderadamente ácido (pH de 5.5). Este aumento de pH pudo haber ocurrido debido a la disminución de la concentración de iones H^+ en el suelo, como resultado de las reacciones bási-

Cuadro 4. Comparación de medias del efecto de los tratamientos al suelo en las variables altura de planta y diámetro de tallo (Tukey).

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)
Testigo	43.6 c	10.6 b
Cal	87.2 a	16.6 a
Fertilización	53.1 bc	12.4 ab
Cal+Fertilización	70.4 b	14.6 ab
DSH	21.2	5.9

*Letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey; $P \leq 0.05$). DSH=Diferencia significativa honesta.

cas de la cal en el suelo que lo neutralizaron; además, el incremento de pH pudo permitir la precipitación del Al^{3+} como $Al(OH)_3$ que es un compuesto insoluble, eliminando de esta forma, el efecto tóxico del Al^{3+} en las plantas y la principal fuente de iones H^+ (Espinosa y Molina, 1999). Esto explica la razón por la que el porcentaje de saturación de Al^{3+} dentro de la CIC se redujo significativamente en los tratamientos donde se aplicó cal, y en el caso, del H^+ se redujo a cero.

En los tratamientos con aplicación de cal, también se observó un aumento significativo en el porcentaje de saturación de la CIC por Ca^{2+} , lo cual es debido al aporte proveniente de la disolución del $CaCO_3$, que aumentó la ocupación de los sitios de intercambio en la superficie de los coloides del suelo, por ese catión, sirviendo como nutrientes de las plantas (Siavosh, 2016). En lo que respecta al porcentaje de saturación de K y Mg no hubo diferencias por la aplicación de cal.

De igual manera, en los tratamientos con cal se presentó un aumento de la CIC efectiva debido al desalojo del Al^{3+} y aumento de la participación de las bases intercambiables en los sitios de intercambio. Siavosh (2016), señala que en la mayoría de los suelos cafetaleros el incremento de la acidez se traduce en una disminución de la CIC,

Cuadro 5. Efecto de los tratamientos en las variables largo de raíz, peso de hojas, peso total de raíces, ramas y tallos, y peso total de la planta.

Tratamiento	Largo raíz (cm)	Peso (g)		
		Hojas	Raíces, ramas y tallo	Total Planta
Testigo	58	117	192	309
Cal	140	360	668	1028
Fertilización	164	326	496	822
Cal+fertilización	115	226	337	562

Cuadro 6. Efecto de los tratamientos sobre propiedades del suelo.

Tratamiento	pH 1:2 (Agua)	P Bray (ppm)	CIC meq/100g	Porcentaje de saturación en la CIC					
				H+Al	Al	H	Ca	K	Mg
Testigo	4.8	6	5.84	27.0	20.0	7.0	24	13	33
Fertilización	4.9	53	4.9	42.0	28.0	14.0	14	16	26
Cal	5.5	12	8.38	3.5	3.5	0.0	54	12	28
Cal+fertilización	5.5	65	10.47	1.4	1.4	0.0	59	7	32

con implicaciones considerables en la fertilidad del suelo y la eficiencia de la fertilización, pues entre más ácido sea el suelo, habrá menor capacidad de retención o almacenamiento de nutrientes.

Dentro de los tratamientos que no llevaron cal, el tratamiento con fertilización presentó el valor más alto de porcentaje de saturación de acidez intercambiable ($H^+ + Al^{3+}$), probablemente debido al efecto que tuvo la fertilización nitrogenada sobre el incremento de la acidez en el suelo (Espinosa y Molina, 1999). De acuerdo a Raji (2011), el proceso de nitrificación, que es la causa del aumento de la acidez, tuvo mayor ocurrencia en el tratamiento con fertilización, ya que la urea es un fertilizante nitrogenado que genera un mol de H por mol de nitrógeno aplicado (Havlin et al., 2014).

En la Figura 3 se observa que en los tratamientos que llevaron cal, se mostró un mayor porcentaje de nitrógeno total en el suelo, lo cual es debido, al incremento que genera el encalado sobre la actividad de los microorganismos encargados de la mineralización de la materia orgánica, que como resultado aumentan la disponibilidad de nitrógeno (Malavolta, 1993).

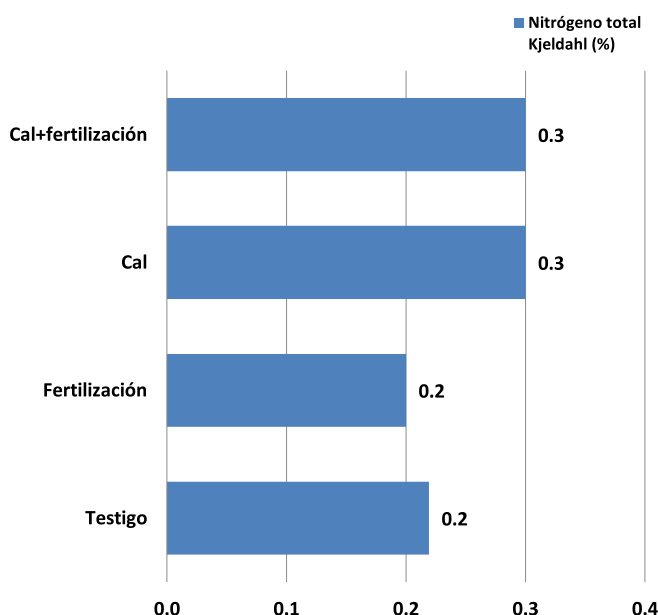


Figura 3. Efecto de los tratamientos sobre el nitrógeno total en el suelo.

Con respecto al efecto sobre el rendimiento de café cereza, en las Figura 4 y 5 se observa que el tratamiento con cal supera en 34, 8 y 1.3 veces a los tratamientos testigo, fertilización y cal+fertilización. La eficiencia agronómica de la cal fue de 9.8, 8.8 y 2.4 gramos de café cereza por cada kilogramo de cal aplicado con respecto a los tratamientos testigo, fertilización y cal+fertilización, evidenciando una pérdida de la eficiencia de la cal cuando se aplica fertilizantes nitrogenados.

CONCLUSIONES

Los resultados de este ensayo, dejan claro que las condiciones de acidez en el suelo, al afectar el crecimiento normal de las raíces, limita la absorción de nutrientes, el desarrollo de la parte aérea de las plantas y el rendimiento de grano café.

Para solucionar este tipo de problemas, la cal dolomita es una excelente opción bajo las condiciones de estudio aquí descritas. También muestran el efecto que tiene la fertilización nitrogenada en el aumento de la acidez y la limitada eficiencia que tienen los fertilizantes aplicados en un suelo con problema de acidez.

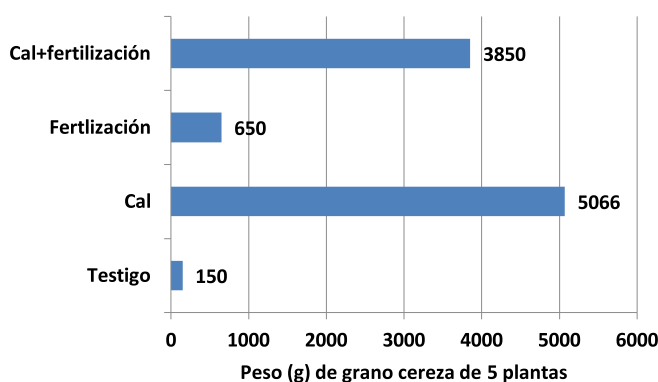


Figura 4. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de café.



Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento.

LITERATURA CITADA

- Ángel C. M. C. 2015. Diagnóstico participativo de la acidez en suelos cafetaleros de la microcuenca La Suiza, municipio Montecristo de Guerrero, Chiapas. Tesis de Licenciatura Ingeniero en Ciencias Agrarias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Centro Académico Regional Chiapas. Cintalapa de Figueroa, Chiapas, México. 71 p.
- Bertsch F. 1995. La fertilidad del suelo y su manejo San José Costa Rica. ACCS. 57 p.
- Bertsch F. 1998. Potasio, calcio y magnesio en el sistema suelo-café. Curso regional sobre nutrición mineral del café. San José Costa Rica. Programa Cooperativo para la Producción y Modernización de la Cafeticultura (PROMECAFE). pp. 83-88.
- Castiaux M., Crossman K., Jurjonas M., Mondragón R.L. 2014. Diagnóstico participativo para la planeación de la producción de café en la Microcuenca La Suiza de Chiapas, México. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur- Colorado State University. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. 159 p.
- Diario Oficial (DOF). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreos y análisis. DOF del día martes 31 de diciembre de 2002. México. 85 p.
- Espinosa J., Molina E. 1999. La acidez y encalado de suelos. International Plant Nutrition Institute. Quito, Ecuador. 42 p.
- Havlin J.L. Tisdale S.L., Nelson W.L., Beaton J.D. 2014. Soil Fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 8ª. Ed. New Jersey. Pearson. 516 p.
- IPNI. 1990. Manual de fertilidad de suelo: porcentaje de saturación de bases intercambiables. The Potash and Phosphate Institute. pp.12.
- Jurjonas M., Crossman K., Solomon J., López B.W. 2016. Potential links between certified organic coffee and deforestation in a protected area in Chiapas, Mexico. World Develop. 78: 13-21.
- López B.W., Castro M.I., Reynoso S.R., López M.J. 2016. Propiedades de los suelos cafetaleros en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. Rev. Mex. Cien. Agríc. 7: 607-618.
- López B.W., Salinas C.E., Santos R.R. 2011. Conectividad hídrica entre municipios, cuencas y Reserva de la Biósfera El Triunfo. Potencial para la creación de un mercado local de agua. Libro Técnico No. 10. Campo Experimental Centro Chiapas, INIFAP. 80 p.
- Meléndez G., Molina E. 2001. Manejo de la acidez y encalado de los suelos. En Memoria del Seminario Fertilidad de Suelos y Manejo de la Nutrición de Cultivos Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. pp. 27-40.
- Malavolta E. 1993. Nutricao mineral e adubacao do cafeeiro: colheitas econômicas máximas. Sao Paulo: Agronômica Ceres. 210 p.
- Rajj B.V. 2011. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. PIRACICABA. IPNI. 420 p.
- Siavosh S.K. 2016. La acidez del suelo; una limitante común para la producción de café. Avances técnicos. CENICAFE No. 466. Colombia. 12 p.
- Snyder C.S. 2009. Eficiencia del uso de nitrógeno: desafíos mundiales, tendencias futuras. En: memoria del simposio "uso eficiente de nutrientes" presentado por el IPNI en el Congreso Latinoamericano del Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. pp. 11-19.